

Optimising plant components using flow simulations

Anlagenkomponenten mit Strömungssimulationen optimieren

Theo Schrooten, Ralf Esser, Kristina Knop, Astrid Kögel, Gunnar-Marcel Klein
Intensiv-Filter GmbH & Co. KG, Vellbert-Langenberg/Germany

1 Introduction

CFD (Computational Fluid Dynamics) makes it possible to predict system behaviour in detail far exceeding traditional and costly test set-ups. Heat transfer, pressure loss behaviour, velocity profiles, particle tracking velocimetry, flow phenomena and vaporisation processes are analysed using CFD simulation. CFD simulation programs have therefore developed into important tools for the analysis and optimisation of industrial plant components.

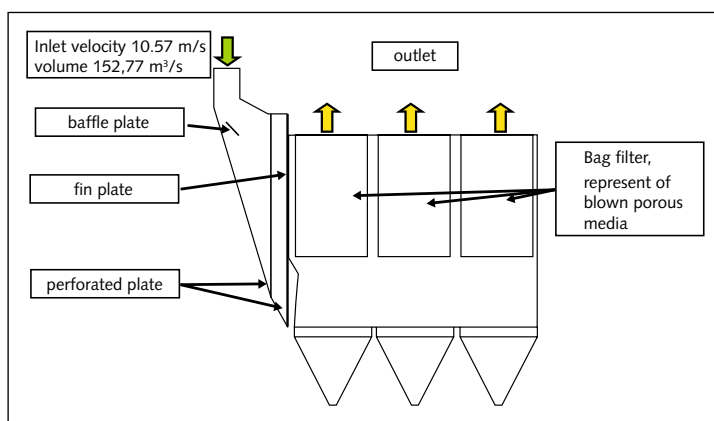
Today, development processes have to be effective and efficient. Effective computer simulations offer an alternative to costly, conventional development processes, consisting of constructive development, prototype construction and experimental validation (in several cycles). CFD simulations are based on numerical fluid mechanics, the purpose of which is to solve fluid mechanics problems approximately using numeric methods. The models used are based on Navier-Stokes-equations, Euler-equations and potential equations. At Intensiv-Filter, the optimisation of bag filters and plant components is carried out through the networking of 3D CAD systems (Solid Works) with the in-house CFD program (CFX). Here, maximum synergies are achieved during the necessary process steps. After completion of the pre-processing steps, the actual flow calculation is processed overnight on high-capacity PCs.

At Intensiv-Filter, the typical component optimisation process using CFD is as follows:

- 3D geometry generation (SolidWorks)
- Pre-processing:
 - Import of 3D geometry
 - Generation of the solid that is flowed through, optimisation of sharp corners and edges
 - Grid generation
 - Input of operating parameters and material properties
 - Definition of flow
 - Definition of boundary conditions
- Solver flow calculation start
- Post-processing:
 - Evaluation and visual presentation of the results

1 Einleitung

Der Einsatz von strömungstechnischen Simulationen (Computational Fluid Dynamics, CFD) ermöglicht die Voraussage des Anlagenverhaltens in einem Detaillierungsgrad, den traditionelle und kostenintensive Versuchsaufbauten nie erreichen können. Mittels CFD-Simulation, werden Wärmeübergänge, Druckverlustverhalten, Geschwindigkeitsprofile, Partikeltrajektorien, Strömungs- und Verdampfungsvorgänge analysiert. Die Programme zur CFD-Simulation haben sich daher zu wichtigen Werkzeugen zur Analyse und Optimierung von durchströmten Anlagen und Apparaten entwickelt.



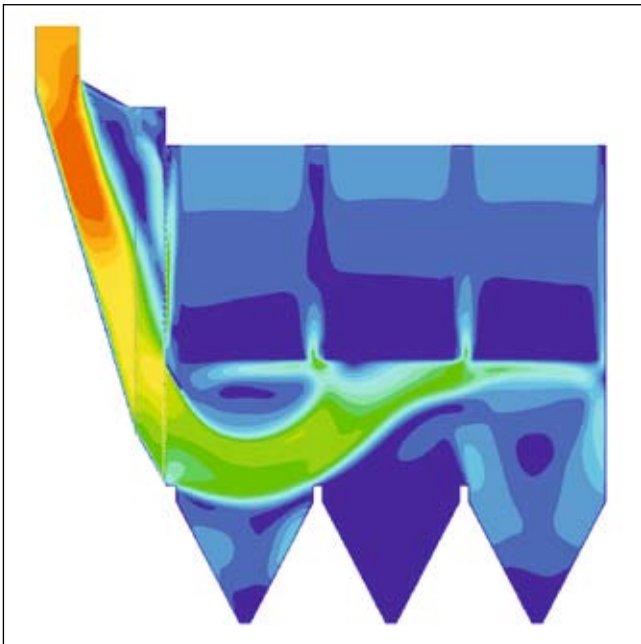
1 Conversion of an electrostatic precipitator into a bag filter – parameters of design optimisation
Umbau eines Elektrofilters in einen Schlauchfilter – Parameter der konstruktiven Optimierung

Entwicklungsprozesse müssen heute effektiv und effizient sein. Eine Alternative zu den kostenintensiven, herkömmlichen Entwicklungsprozessen, bestehend aus konstruktiver Entwicklung, Musterbau und experimenteller Validierung (in mehreren Schleifen), ist der Einsatz

von effektiven Computersimulationen. Die CFD-Simulationen basieren auf der numerischen Strömungsmechanik, die das Ziel hat, strömungsmechanische Probleme approximativ mit numerischen Methoden zu lösen. Die benutzten Modelle gehen auf die Navier-Stokes-Gleichungen, Euler-Gleichungen und Potentialgleichungen zurück. Die Optimierung von Schlauchfiltern und Anlagenkomponenten wird bei Intensiv-Filter durch die enge Vernetzung des 3-D CAD-Systems (Solid Works) mit dem hausgemachten CFD-Programm (CFX) realisiert. Hierbei werden in den notwendigen Arbeitsschritten maximale Synergien erzielt. Nach Abschluss der Pre-Processing Schritte, läuft die eigentliche Strömungsberechnung über Nacht auf leistungsfähigen PCs.

Der typische Ablauf einer Bauteiloptimierung mittels CFD folgt bei Intensiv-Filter einem standardisierten Ablaufschema:

- Geometrieerstellung in 3D (SolidWorks)
- Pre-Processing:
 - Importieren der 3D-Geometrie
 - Erstellung des zu durchströmenden Körpers ggf. Optimierung scharfer Ecken und Kanten
 - Netzgittergenerierung
 - Eingabe Betriebsparameter der Stoff- und Betriebsdaten
 - Strömung definieren
 - Randbedingungen festlegen
- Start der Strömungsberechnung des Solvers



2 Flow simulation – basis variant
Strömungssimulation – Basisvariante

The following demonstrates the integration of a flow simulation in process engineering and constructional design, based on existing dust removal installations.

2 Case study: Deuna Zement GmbH/Germany

The existing electrostatic precipitator was converted to a bag filter in order to remove dust from the rotary kiln at Deuna Zement GmbH. In addition to the further use of the existing ESP housing, a filter surface load of $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ was achieved. To do this, unlike with conventional ESP upgrades, the raw gas plenum was fitted entirely with bags.

Due to spatial restrictions and the unfavourable raw gas inlet, an adverse flow into the dust collection chamber and an unfavourable upward flow into the bag packages were to be expected. The flow simulation was to provide information about the changes required in the inflow area.

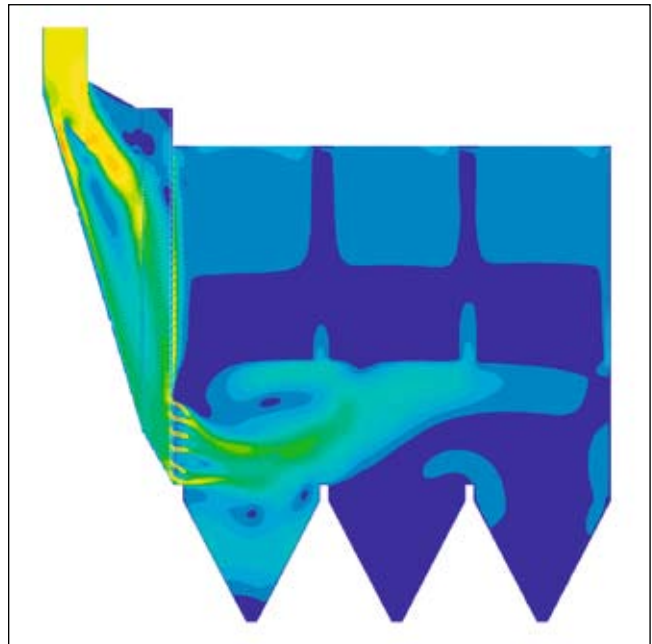
The aim was to provide uniform incoming flow of the bags through a combination of a crossflow and a minimised (but not preventable) upward flow. For this, the structural design of various baffle plates and fin plates was varied (Fig. 1).

2.1 Results

The initial simulation results (Fig. 2) showed flow velocities of approx. 10 m/s in the first dust collection hopper. Deflectors were then added to achieve a better flow distribution and to reduce the maximum velocity.

In a later step, the incoming flows of the filter elements were optimised to eliminate high speeds in the inlet area and dead zones, where turbulence and backstreaming had occurred. Damage to bags caused by abrasive dusts was prevented accordingly. A fin plate guidance system specially designed by Intensiv-Filter was used, resulting in the desired optimisation of the inflow behaviour.

In the final step, the uniform distribution of the volume flow below the bag packages was checked. A vastly reduced upwards



3 Flow simulation – optimised variant
Strömungssimulation – optimierte Variante

- Post-Processing:
 - Auswertung und visuelle Darstellung und Interpretation der Ergebnisse.

Im Folgenden wird anhand ausgeführter Entstaubungsanlagen die Einbindung der Strömungssimulation in die verfahrenstechnische und konstruktive Entwicklung aufgezeigt.

2 Fallbeispiel: Deuna Zement GmbH/Deutschland

Zur Entstaubung des Drehrohrofens bei der Deuna Zement GmbH, wurde das vorhandene Elektrofilter in einen Filtrationsabscheider umgebaut. Neben der weitgehenden Nutzung des vorhandenen Elektro-Filtergehäuses wurde eine Filterflächenbelastung von $60 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$ realisiert. Hierzu wurde im Gegensatz zu üblichen Elektrofilterumbauten der Rohgasraum vollständig mit Schläuchen bestückt.

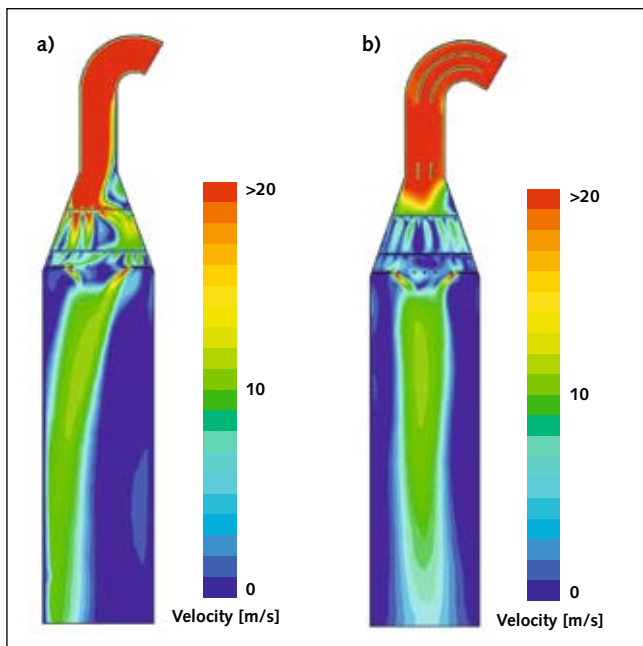
Die beengten Platzverhältnisse und der ungünstige Rohgas-eintritt ließen einen nachteiligen Strömungsverlauf in den Staubsammelraum und eine ungünstige Aufströmung in die Schlauchpakete erwarten. Die Strömungssimulation sollte Aufschluss über die notwendigen Veränderungen im Bereich der Einströmung geben.

Ziel war eine gleichmäßige Anströmung der Schlauchpakete durch eine Kombination aus Kreuzströmung und minimierter (nicht vermeidbarer) Aufströmung. Hierzu wurde die konstruktive Ausführung verschiedener Leit- und Lamellenbleche variiert (Bild 1).

2.1 Ergebnisse

Erste Simulationsergebnisse (Bild 2) zeigten hohe Geschwindigkeiten von ca. 10 m/s im ersten Staubsammelrumpf. Um diese Geschwindigkeit zu minimieren, wurden zunächst Leitbleche ergänzt.

Die Anströmungen der Filterelemente wurden in einem weiteren Schritt vergleichmäßigt, damit hohe Geschwindig-



4 Velocity prior to (a) and after (b) optimisation
Geschwindigkeitsprofil vor (a) und nach (b) der Optimierung

flow circulated around the filter bags and the crossflow situation within the bag package was improved. The filter surface area is thus optimally utilised and the efficiency of the cleaning system supported in a better way (Fig. 3).

The flow optimisation resulted in:

- Uniform flow distribution around the filter bags and utilisation of the filter surface area through attaining the desired crossflow
- Uniform and low speeds in the entire raw gas plenum
- Minimisation of the upward flow between the bags
- Significant reduction of the filter cake resistance resulting in reduction of the differential pressure
- Reduction of operating costs

The uniformity of the bag inflow and low differential pressure in the filter have also been confirmed in practice.

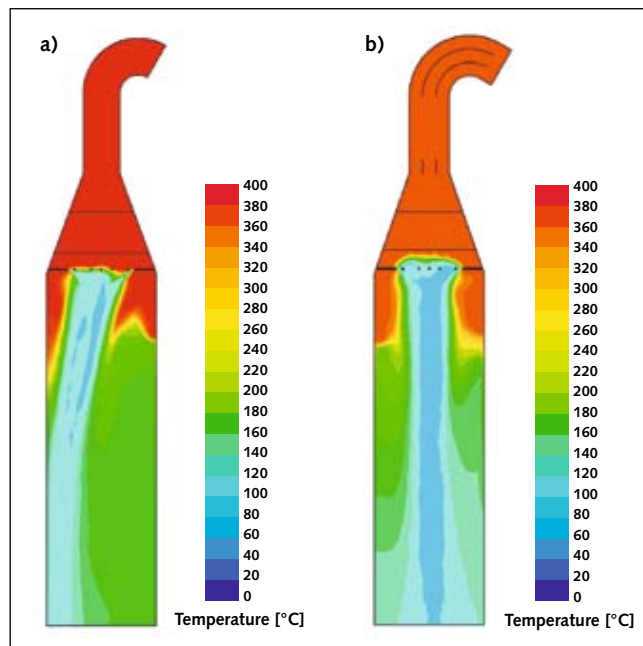
3 Case study: Carpatcement, Bicaz plant, Romania

Intensiv-Filter converted the electrostatic precipitator into a bag filter and carried out the dust removal of the raw mills, clinker transport and the clinker dosing plant at the Bicaz cement plant in Romania. Intensiv-Filter was also additionally assigned with the optimisation of the existing evaporation cooler. The initial basis of which was a CFD analysis of the existing plant that had to be performed.

3.1 Results

Figures 4a and 5a illustrate the flow behaviour and the temperature profile prior to optimisation. The pipe bend upstream from the evaporation cooler causes an asymmetrical flow and temperature distribution in the evaporation zone, although liquid phase and dust content wall contact cannot be prevented.

As a result of the CFD-supported design optimisation, the evaporation cooler was directed through the centre of the upper cone by the use of deflectors (Fig. 4b and 5b). Behind the perforated plate manifold, a symmetrical flow without wall contact



5 Temperature prior to (a) and after (b) optimisation
Temperaturprofil vor (a) und nach (b) der Optimierung

keiten im Eintrittsbereich sowie Totzonen, in denen es zu Verwirbelungen und Rückströmungen kam, eliminiert wurden. Schlauchbeschädigungen durch abrasive Stäube werden entsprechend vermieden. Hierzu wurde ein speziell von Intensiv-Filter entwickeltes Lamellenleitsystem eingesetzt, welches die gewünschte Optimierung der Einströmungsverhältnisse bewirkt.

In einem letzten Schritt, wurde die gleichmäßige Verteilung des Volumenstroms unterhalb der Schlauchpakete überprüft. Die Filterschläuche werden durch die nun stark verringerte aufwärts gerichtete Strömung und die erzielte Kreuzströmung zwischen den Schläuchen optimal umströmt. Damit wird die Filterfläche bestmöglich ausgenutzt und die Effizienz des Abreinigungssystems unterstützt (Bild 3).

Als Resultat der Strömungsoptimierung konnten folgende Verbesserungen verwirklicht werden:

- Gleichmäßige Umströmung der Filterschläuche und Ausnutzung der Filterfläche durch Erreichen der gewünschten Kreuzströmung
- Gleichmäßige und niedrige Geschwindigkeitsverteilung im gesamten Rohgasraum
- Minimierung der aufwärts gerichteten Strömung zwischen den Schläuchen
- Signifikante Reduzierung des Filterwiderstandes und daraus resultierende Verringerung des Differenzdruckes
- Reduzierung der Betriebskosten

Im Praxisbetrieb haben sich die gleichmäßige Schlauchanströmung sowie der geringe Differenzdruck des Filters bestätigt.

3 Fallbeispiel: Carpatcement, Werk Bicaz/Rumänien

Intensiv-Filter hat in dem rumänischen Zementwerk Bicaz den Umbau der Elektrofilter in filternde Abscheider sowie die Entstaubung der Rohmehlmühle, Klinkertransport und Klinkerdosieranlage durchgeführt. Zusätzlich wurde Intensiv-Filter mit der Optimierung des bestehenden Verdampfungskühlerbe-

during the disperse phase was thus achieved in the cooler. This measure improves and optimises the evaporation of the sprayed water droplets, thus ensuring reliable and consistent direct operation for the downstream bag filter. Another advantage is the prevention of dust clogging in the evaporation cooler housing and the evaporation cooler dust discharge system.

On the whole, the measures derived from the flow simulation resulted in the improved energy efficiency of the entire installation and in a failure-free operation.

4 Conclusions

Today, efficient commercial CFD program packages enable fluid flow and thermal analysis and the resulting optimisation of plant components. The key to efficiently solving customer-specific tasks is the close interaction of the CFD program with the CAD system. Intensiv-Filter has therefore decided to perform CFD calculations in-house with its specially formed team of experts. In addition to the acceleration of process engineering and design project work during the planning and realisation of industrial dust removal installations, CFD also serves as a tool for fundamental developments. Through this, Intensiv-Filter can, from emission source to chimney, strengthen its core competence in the development of energy-efficient bag filters and filtration plants.

www.intensiv-filter.com

auftragt. Die Ausgangsbasis hierzu war eine durchzuführende CFD Analyse der bestehenden Anlage.

3.1 Ergebnisse:

Die **Bilder 4a und 5a** zeigen das Strömungsverhalten und das Temperaturprofil vor der Optimierung. Der dem Verdampfungskühler vorgeschaltete Krümmer verursacht eine asymmetrische Strömungsführung und Temperaturverteilung in der Verdampferzone, bei der ein Wandkontakt der Flüssigphase und Staubfracht nicht auszuschließen ist.

Als Resultat der CFD-gestützten konstruktiven Optimierung wurde die Einströmung in den Verdampfungskühler durch den Einsatz von Leitblechen so vergleichmäßig, dass der Gasstrom zentral in den oberen Konus des Apparates einströmt (**Bild 4b und 5b**). Hinter dem Lochblech-Strömungsgleichrichter wird damit eine symmetrische Strömungsführung ohne Wandkontakt der dispersen Phase im Kühler erzielt. Durch diese Maßnahme erfolgt eine verbesserte und optimierte Verdampfung der eingedüsten Wassertropfen zur Erzielung eines sicheren und konstanten Direktbetriebes für das nachgeschaltete Schlauchfilter. Weitere Vorteile sind das Verhindern von feuchten Staubanbackungen im VDK-Gehäuse sowie im VDK-Staubaustrag.

Insgesamt betrachtet wurden, durch die aus der Strömungssimulation resultierenden Maßnahmen, sowohl die Energieeffizienz der Gesamtanlage verbessert, als auch die Voraussetzungen für ein störungsfreies Betriebsverhalten geschaffen.

4 Schlußbetrachtung

Leistungsfähige kommerzielle CFD-Programmpakete gestatten heute die strömungstechnische und thermische Analyse sowie die darauf aufbauende Optimierung von Anlagenkomponenten. Der Schlüssel zu einer effizienten Lösung kundenspezifischer Aufgabenstellungen besteht hierbei in der Vernetzung des CFD-Programms mit dem CAD-System. Intensiv-Filter hat daher entschieden, CFD-Rechnungen durch eine eigens hierzu geschaffene Experten-gruppe inhouse durchzuführen. Neben der Beschleunigung der verfahrenstechnischen und konstruktiven Projektarbeit in der Konzeption und Realisierung von industriellen Entstaubungsanlagen, dient CFD auch als Werkzeug für grundlegende Weiterentwicklungen. Intensiv-Filter baut damit seine Kernkompetenz in der Entwicklung energieeffizienter Filteranlagen und Anlagentechnik, von der Emissionsquelle bis zum Kamin, weiter aus.